REVISTA DESIGN & TECNOLOGIA
ISSN: 2178-1974
2025, Vol. 15, No. 30
DOI 10.23972/det2025iss30pp01-14

PGDESIGN
www.pgdesign.ufrgs.br

Design e a matéria viva: respostas de fungos na (con)formação de compósitos em técnica artesanal e técnica auxiliada por fabricação digital

Elisa S. Nascimento[1]; Luiz E. P. Andrade[2]; Caroline A.U. Fukuda[1] ; Adriano Heemann[1]

1 *Universidade Federal do Paraná*

2 *NeoMatter*

RESUMO

Na prática de biodesign, o trabalho com materiais vivos, como o compósito de micélio, ganha destaque no volume de artigos científicos desenvolvidos no tema. Contudo, há autores e autoras que constatam uma lacuna na falta de sistematização das informações dos experimentos realizados com os mesmos. Dentro desta problemática, este trabalho se propõe a documentar de modo sistematizado a experimentação realizada na conformação de artefatos com três espécies de fungos, selecionadas a partir da literatura, utilizando uma técnica de prática artesanal e também uma auxiliada pela fabricação digital. As seguintes perguntas de pesquisa são respondidas: (I) as espécies *Trametes versicolor, Ganoderma lucidum* e *Pleurotus ostreatus* crescerão sobre uma estrutura de juta construída em técnica de crochê? e (II) como se comportarão em termos de crescimento e desmolde as espécies *Trametes versicolor* e *Ganoderma lucidum* - quando colocadas em substrato dentro de moldes de PLA para formar relevos e rebaixos de alturas distintas? Após revisão bibliográfica sistemática segue-se a estrutura metodológica: inicia-se com a preparação das (I) culturas líquidas (CLs) e (II) substratos inoculados; (III) segue-se a construção das estruturas em juta na técnica de crochê; (IV) o projeto e impressão 3D dos moldes; a (V) submersão das estruturas de juta nas culturas líquidas e preenchimento dos moldes; (VI e VII) incubação e retirada dos moldes e da imersão; e (VIII) secagem. Como resultado, identificou-se que para a pergunta (I) as camadas mais espessas e visíveis de micélio se formaram nos casos da *Ganoderma lucidum strain II,* que não foi mantida em submersão, e da *Pleurotus ostreatus* que foi mantida submersa. Quanto à pergunta (II), foi possível observar que a melhor resposta foi do conjunto de experimentos com a espécie *Ganoderma lucidum strain II*, tanto em relevos quanto em rebaixos. O melhor resultado foi conseguido com os rebaixos de profundidade 0,5 mm, 1 mm até 2 mm. Parece ser mais difícil conseguir bons resultados com os relevos, cujo melhor resultado foi de apenas 0,5 mm. Para estudos futuros sugere-se a aplicação de diferentes substratos, como fibras mais macias, e um cuidado maior com a esterilização no processo de trituração.

PALAVRAS-CHAVE

Biodesign; Materiais Vivos; Design interespécies; Compósito de Micélio; Técnicas de Conformação

Design and the living matter: fungal responses in the (con)formation of composites in handcrafted technique and aided by digital fabrication technique

ABSTRACT

In biodesign, the work with living materials such as mycelium composite gains prominence in the volume of scientific articles developed on the subject. However, there are authors that note a gap on the lack of systematization of information in experiments performed with them. Within this problematic, this paper proposes to document in a systematized way the experimentation performed in the conformation of artifacts with three species of fungi, selected from the literature, using a craft technique and one aided by digital fabrication. The following research questions are answered: (I) will the *Trametes versicolor*, *Ganoderma lucidum* and *Pleurotus ostreatus* species grow on a jute structure built using a crochet technique? and (II) how will the *Trametes versicolor* and *Ganoderma lucidum* species behave in terms of growth and demoulding when placed on a substrate inside PLA moulds to form reliefs and recesses of different heights? After systematic literature review, the methodological structure follows: it starts with the preparation of (I) liquid cultures (LCs) and (II) inoculated substrates; (III) the construction of the jute structures in the crochet technique; (IV) the design and 3D printing of the moulds; the (V) immersion of the jute structures in the liquid cultures and filling of the moulds; (VI and VII) incubation and removal of the moulds and immersion; and (VIII) drying. As a result, it was identified that for question (I) the thickest and most visible layers of mycelium were formed in the cases of *Ganoderma lucidum* strain II that was not kept submerged and *Pleurotus ostreatus* that was kept submerged. As for question (II), it was possible to observe that the best response was obtained from the set of experiments with the *Ganoderma lucidum* strain II species, both in positive and negative reliefs. The best results were achieved with negative reliefs from a depth of 0.5 mm, 1 mm up to 2 mm. It seems to be more difficult to achieve good results with positive reliefs, where the best result was only 0.5 mm. For future studies we suggest the application of different substrates, such as softer fibers, and a greater care with sterilization in the grinding process.

KEYWORDS

Biodesign; Living Materials; Interspecies Design; Mycelium Composite; Shaping Techniques

CONTATO: Elisa S. Nascimento – *elisastrobel@gmail.com*

© 2025 – Revista Design & Tecnologia

1. INTRODUÇÃO

O termo biodesign se difundiu a partir do livro de Myers (2018, primeira edição em 2012), referindo-se a desenvolvimentos de design que incluam uma forma de vida ou organismo como essencial para a composição do produto ou sistema. Dentro desta corrente, o trabalho com outros seres viventes não humanos ganha destaque na proposição de novas formas de fazer design e de produzir artefatos (Strobel do Nascimento; Heemann, 2020). Esta prática também é abordada como "design com materiais vivos" (Camere; Karana, 2018) e "*design with the living*", ou "design com os viventes", em tradução livre (Design Museum, 2020; 2021). A matéria (ou material) com agência traz desafios e exige novas sensibilidades de designers, como a negociação da configuração estética do artefato com a outra espécie, que cresce, dando forma à peça (Camere; Karana, 2018; Strobel do Nascimento et al.; 2021).

Dentre os organismos utilizados no biodesign, destacam-se os fungos – notavelmente já empregados em produtos em escala industrial por empresas como a Ecovative (2022). Contudo, Attias, Danai e Abitbol, (2020) e Pasold (2021) observam que há ainda uma lacuna nas informações disponíveis sobre design com fungos, especificamente nas experimentações e detalhes de cultivo e conformação. Embora haja um número abundante de trabalhos de design com fungos publicados, as informações são reportadas como descentralizadas e incompletas para serem replicadas, como constatam Attias, Danai e Abitbol, (2020) e Pasold (2021). Autores como Kera (2014), Attias, Danai e Abitbol (2020), Melkozernov e Sorensen(2020) e Pasold (2021) enfatizam ainda a importância que assumem as fontes informais, para além da literatura científica, uma vez que algumas técnicas e práticas são descritas por pesquisadores independentes, empresas e fóruns comunitários. A falta de informação estruturada configura uma lacuna de pesquisa, como argumenta Pasold (2020), pois informações sistematizadas contribuiriam para a implementação comercial de materiais como compósitos de micélio e atuariam na facilitação de projetos de design com estes materiais.

Dentro desta problemática, este trabalho se propõe a documentar de modo sistematizado uma experimentação realizada na conformação de artefatos com três espécies de fungos, selecionadas a partir da literatura, utilizando uma técnica de prática artesanal e também uma auxiliada pela fabricação digital. Para tal, elaboram-se as seguintes perguntas de pesquisa: (I) as espécies *Trametes versicolor, Ganoderma lucidum* e *Pleurotus ostreatus* crescerão sobre uma estrutura de juta construída em técnica de crochê? e (II) como se comportarão em termos de crescimento e desmolde as espécies *Trametes versicolor* e *Ganoderma lucidum* - quando colocadas em substrato dentro de moldes de PLA para formar relevos e rebaixos de alturas distintas? Esclarece-se que a sigla PLA designa o polímero poliácido láctico – muito comum na impressão 3D.

A partir destas perguntas, na próxima secção se contextualizam estes materiais, o design com fungos e suas aplicações atuais a partir de revisão da literatura; segue-se com a descrição dos procedimentos metodológicos - incluindo a sistematização de informações para produção de compósitos de micélio com base em recursos educacionais abertos; na secção seguinte discutem-se os resultados com outros trabalhos práticos; concluindo com as considerações finais e as perspectivas para trabalhos futuros.

2. COMPÓSITOS A BASE DE FUNGOS (MICÉLIO)

Os fungos aplicados no biodesign são majoritariamente os filamentosos, que são trabalhados de duas principais formas. A primeira delas consiste no crescimento de uma camada de micélio puro, que resulta em um material que se assemelha a um "couro" (Raman et al., 2022). Os micélios são estruturas filamentosas formadas por um conjunto de hifas: células alongadas com função reprodutiva e de nutrição (Tortora; Berdell; Case, 2012). Eles seriam o equivalente à raiz dos cogumelos. A segunda forma mais comum trabalhada no design com fungos seriam os compósitos de micélio (Attias; Danai; Abitbol, 2020), cujas características dependem do substrato e condições de cultivo (Wimmers et al., 2019; Attias et al., 2017). Esta última é a forma também abordade neste trabalho. Conforme Callister e Rethwisch (2014), compósitos são materiais multifásicos que exibem propriedades significativas de suas fases constituintes. Seu objetivo é alcançar uma melhor combinação de propriedades.

Geralmente, compósitos implicam em uma fase chamada de matriz, que passa a envolver uma outra fase presente em partículas, fibras ou camadas – chamada de fase dispersa. Desta forma, os compósitos de micélio são formados por uma matriz de micélio com uma fase dispersa de substrato. Substrato se refere à matéria onde o organismo crescerá, que lhe oferece nutrientes e estrutura de sustentação. Um exemplo muito comum de substrato no design com fungos é o resíduo de madeira (cepilho ou maravalha) (Crawford, 2024). Na formação dos compósitos de micélio, durante a nutrição dos fungos, as hifas liberam enzimas que degradam estruturas celulósicas presentes no substrato em moléculas menores, que se tornam então passíveis de absorção pelas células (Fricker et al., 2017).

Algumas características dos compósitos de micélio em relação a outros materiais são: condutividade térmica baixa comparável a soluções comerciais para isolamento térmico; propriedades de isolamento acústico superiores a soluções comerciais; retardância de fogo melhor e menor emissão de monóxido de carbono e fumaça em relação a espumas sintéticas e compensados; e força, flexibilidade e compressão comparáveis ou superiores a espumas sintéticas (compilado por Jones et al.; 2020). Na maior parte dass aplicações de compósitos de micélio no design e arquitetura, busca-se uma qualidade estética específica, que é a formação de uma camada uniforme esbranquiçada que cobre o exterior das peças (Unger, 2022). A secção seguinte busca elucidar algumas destas aplicações e também as técnicas utilizadas no seu desenvolvimento.

3. DESIGN COM FUNGOS

Uma revisão bibliográfica sistemática realizada em 2021 oferece uma visão geral das aplicações de design com fungos. A revisão foi realizada por meio das bases de dados Web of Science (Thomson Reuters) e Scopus (Elsevier), sem restrição de ano ou tipo de publicação. As *strings* de busca foram: "*biofabrication*" *AND* "*design*"; "*growing design*"; "living materials" AND "design"; "*growing materials*"; "*biogenic materials*" *AND* "*design*"; e "*material driven design*". Dos 48 artigos selecionados para uma amostra mais ampla sobre biodesign, filtraram-se 19 trabalhos que abordam fungos – com a condição de que estivessem explícitas aplicações práticas.

As informações foram então sistematizadas no Quadro 1, descrevendo espécie (quando declarada), aplicações e técnicas de conformação. Respeitou-se a terminologia conforme apresentada pelos autores e autoras, o que implicou na manutenção de alguns termos originais. Notou-se que cinco artigos utilizam um kit "cresça você mesmo" disponibilizado pela empresa Ecovative (Ecovative, 2022). Na amostra de artigos analisados encontrou-se uma revisão bibliográfica sistemática de Attias, Danai e Abitbol (2020) sumarizando

também espécies mais utilizadas e aplicações de compósitos de micélio no design industrial e arquitetura. Os dados levantados por estes autores também foram inclusos no Quadro 1.

Quadro 1 Dados da revisão bibliográfica sistemática – publicação, espécie, aplicações e técnicas de conformação

	Publicação	Espécie/especificação	Aplicações	Técnicas de conformação
1	Antinori et al. (2020)	*Ganoderma lucidum;*	Substituição de polímeros, construções, têxteis, eletrônicos, biotecnologia (escalas micro e nanométrica);	Cultura de amostras de teste em substratos melhorados à base de amido, lignina alcalina e D-glucose;
2	Attias, Danai and Abitbol (2020)	*Ganoderma lucidum, Pleurotus ostreatus, Ganoderma sp., Pleurotus sp., T. versicolor, Trametes sp.;*	Embalagens (eletrônicos, alimentícias), isolamento (térmico e acústico), substituição de materiais como poliestireno, materiais para tijolos, couro, aplicações em design industrial e design de interiores, revestimento de piso e acústico, móveis, colchões flutuantes, topologia arquitetônica, agricultura (semeadura), *Jerrycan* (reservatório de água com isolamento térmico);	-
3	Attias et al. (2019)	*Pleurotus ostreatus, Colorius sp., Trametes sp., Ganoderma sp.;*	Embalagens, materiais de construção e isolamento, alternativas ao couro, têxteis e filmes transparentes comestíveis;	Crescimento em moldes tridimensionais;
4	Bernabei and Power (2016)	Cogumelo ostra;	Móveis, cadeiras;	-
5	Camere and Karana (2018)	-	Móveis, roupas, calçados, garrafas para água, módulos de construção;	-
6	Camere and Karana (2017)	-	Móveis, roupas, utensílios domésticos, embalagens;	Exemplos de costura, agrupamento e crescimento de discos de micélio puro em manequim;
7	Cohen, Zicher and Yavuz (2019)	*Saccharomyces cerevisiae* simbiose com a bacteria *Komagataeibacter xylinus*;	Roupas, absorventes higiênicos, embalagens alimentícias comestíveis, etiquetas alimentícias, pratos;	-
8	Collet (2017)	-	Adornos para aplicações na moda, têxteis;	-
9	Collet (2020)	-	Têxteis, calçados, mobiliário;	-
10	Gerber et al. (2012)	*Penicillium roqueforti;*	Proposta de design conceitual de um material para superfície auto-limpante. Quando submetido a um derramamento padronizado de alimentos, o sistema vivo consome a substância derramada. Aplicações possíveis em bens de consumo, como embalagens, superfícies internas e biotecnologia;	Cultivo entre camadas: camada inferior de suporte, camada viva, camada protetiva porosa;
11	Gumuskaya (2020)	-	Estruturas que se autoconstroem para arquitetura, tijolos, móveis, têxteis;	-
12	Karana et al. (2018)	*Trametes, Schizophyllum Commune;*	Embalagem inovadora para garrafas de vinho;	Crescimento em moldes tridimensionais;
13	Kirdök et al. (2019)	*Sporosarcina pasteurii, Bacillus pasteurii;*	Arquitetura, materiais estruturais e de construção, tijolos e blocos de construção, geradores de energia, sistemas de armazenamento digital, purificadores de ar, mobiliário urbano, parques infantis, quiosques, *stands* expositivos;	-
14	Lazaro Vasquez and Vega (2019)	Kit Ecovative;	Acessórios vestíveis com eletrônica embarcada: colar, tiara, braceletes;	Molde quadrado, extração de finas camadas planas tratadas com glicerina vegetal, para conferir flexibilidade (processo repetido diversas vezes), corte laser, costura e cola;
15	Lee, Lee and Kim (2018)	-	Arquitetura, módulos de construção para formar "*building skins*"para ser habitados por abelhas selvagens;	-
16	Monna (2017)	Kit Ecovative;	Aplicações para jardim comunitário, casas de pássaros, tigelas, lixeiras, cadeiras;	Crescimento em moldes tridimensionais;
17	Parisi and Rognoli (2017)	Kit Ecovative;	Amostras de teste;	Moldagem manual, inclusão de *psyllium*, chia e linhaça, que conferem viscosidade (algumas sementes cresceram depois no produto), testes com moldes tridimensionais, acabamentos como tingimento, testes com substratos diferentes com formas de partículas variadas;
18	Parisi, Rognoli and Ayala-Garcia (2016)	Kit Ecovative;	Tigelas, embalagens, móveis, isolamento para arquitetura, vasos, luminárias, calçados, colchões, bóias e pranchas de surfe;	Moldagem manual, inclusão de *psyllium*, chia e linhaça, que conferem viscosidade (algumas sementes cresceram depois no produto), testes com moldes tridimensionais, acabamentos como tingimento, testes com substratos diferentes com formas de partículas variadas;
19	Weiler et al. (2019)	Kit Ecovative	Dispositivos de interação humano-computador, protótipos de baixa fidelidade, embalagens temporárias e réplicas.	Moldagem manual, moldes de silicone com LEDs embarcados.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Esta amostra de trabalhos permitiu observar que diversas aplicações de design com fungos vêm sendo estudadas. Destacam-se ainda as técnicas de conformação de compósitos por crescimento em moldes e ainda a modelagem manual. Evidenciam-se as espécies *Ganoderma sp., Pleurotus sp., Trametes sp,* além do uso do kit da Ecovative, cuja espécie não é descrita.

Além das aplicações apresentadas na literatura, cabe mencionar alguns exemplos de aplicações comerciais destes materiais, que já são produzidos em série pela estadunidense Ecovative (2022), pela holandesa Mogu (2022) e pela brasileira Mush (2022) (Figura 1).



Figura 1 Revestimentos acústicos produzidos em compósito de micélio pela empresa brasileira Mush (Fonte: Mush, 2022).

Até o ano de 2025 a Ecovative atende o segmento de embalagens, revestimentos arquitetônicos, segmento alimentício, têxteis e novos desenvolvimentos. Já a Mogu foca aopenas em revestimentos arquitetônicos e a Mush atua em aplicações arquitetônicas, mobiliário, embalagens e têxteis. A seguir, são descritos os procedimentos metodológicos dos experimentos.

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Com o objetivo de documentar de modo sistematizado a experimentação realizada na conformação de artefatos com diferentes espécies de fungos utilizando uma técnica de prática artesanal e também uma auxiliada pela fabricação digital – buscou-se responder às perguntas de pesquisa: (I) as espécies *Trametes versicolor, Ganoderma lucidum* e *Pleurotus ostreatus* crescerão sobre uma estrutura de juta construída em técnica de crochê? e (II) como se comportarão em termos de crescimento e desmolde as espécies *Trametes versicolor* e *Ganoderma lucidum* - quando colocadas em substrato dentro de moldes de PLA para formar relevos e rebaixos de alturas distintas? Iniciou-se com as etapas de preparação das (I) culturas líquidas (CLs) e (II) substratos inoculados; (III) seguida da construção das estruturas em juta na técnica de crochê; (IV) continuou-se com o projeto e impressão 3D dos moldes; (V) para então submergir as estruturas de juta nas culturas líquidas e preencher os moldes; as etapas VI e VII consistiram na incubação e retirada dos moldes e da imersão; e por fim, conclui-se com (VIII) a etapa de secagem. O relato dos procedimentos metodológicos segue esta estrutura.

Cabe destacar que para o experimento foram selecionadas as três espécies reportadas como as mais bem sucedidas na revisão da literatura apresentada no **Quadro 1:** *Ganoderna lucidum*, *Pleurotus ostreatus* e *Trametes versicolor.* Na mesma revisão foi possível observar o uso da tecnologia de fabricação digital, a impressão 3D, para a produção de moldes para o crescimento de artefatos em compósito de micélio. Identificou-se, assim, a oportunidade de testar relevos e rebaixos em texto que pudessem contribuir com o design de superfícies mais detalhadas. Para a técnica artesanal, buscou-se trabalhar com um material de fácil acesso no mercado brasileiro, a juta (IBGE, 2025). A técnica do crochê foi selecionada a partir das habilidades do grupo de pesquisadores e pesquisadoras.

4.1 Etapas I e II - Preparação das CLs e substratos

Um apanhado de Recursos Educacionais Abertos (REA) e artigos científicos, incluindo os analisados na revisão bibliográfica sistemática, em conjunto com experimentos iniciais - serviram como ponto de partida para as etapas I e II. Conforme a cartilha do Campus Virtual da Fiocruz "*Recursos Educacionais Abertos: Conceitos e Princípios*" (Furniel; Mendonça; Silva, s.d.), um REA se define como sendo qualquer material para uso no ensino disponível de forma aberta sem necessidade de pagamento de licenças. REAs para o cultivo de cogumelos para consumo alimentício como o "Cultive Cogumelos" (2022) e "Fungicultura" (Fernandes, 2022) foram bastante úteis nestas etapas. As espécies foram adquiridas no site "Fungicultura" (Fungicultura, 2022) em cultura líquida (CL), ou "semente", dependendo da disponibilidade.

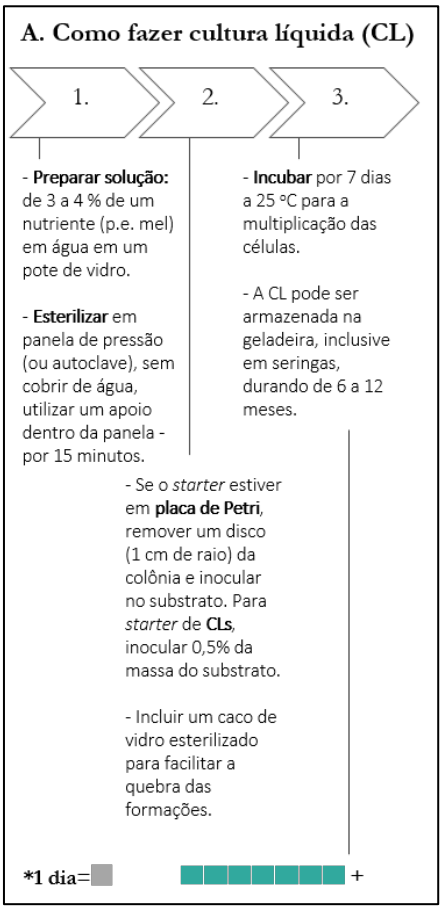


Figura 2 Esquematização de como pode ser preparada a cultura líquida para que depois se produza o compósito de micélio (Fonte: Elaborado pelos autores com base na revisão bibliográfica sistemática e experimentação inicial – e com base em "Cultive Cogumelos" (2022), "Fungicultura" (Fernandes, 2022), "Teach Genetics" (2022), Thompson e Thompson (2012) e Tang e Zhong (2004)).

Os procedimentos realizados seguiram guias como o de Thompson e Thompson (2012) "*Illustrated Guide to Home Biology Experiments*" e o site "*Teach Genetics*" (2022). Mais tarde, Crawford (2024), publicou o "*Designer`s Guide to Lab Practice*", onde diversas informações foram corroboradas.

A partir das referências citadas no parágrafo anterior, esclarecem-se aqui alguns termos. A cultura líquida se refere a um preparo líquido de nutrientes, devidamente esterelizado, onde o fungo pode ser cultivado sem outros organismos competidores, para depois ser transferido para outros substratos. Substratos são quaisquer meios onde os fungos crescem e dos quais possam se alimentar, eles também devem ser previamente esterelizados para que não haja outros organismos competidores. Os substratos para fungos podem ser fibras naturais, madeiras e sementes, entre outros. A inoculação se refere ao ato de adicionar os organismos vivos (neste caso fungos) ao substrato para que se reproduzam e "colonizem" o mesmo. Na maior parte dos casos as "sementes" de cogumelo, também chamadas de *spawn,* são produzidas a partir da inoculação da cultura líquida em sementes esterelizadas. Depois que os fungos colonizam estas sementes, elas são inseridas no substrato final, que também deve ser esterelizado. Este substrato inoculado é então moldado e aguarda-se o crescimento do micélio para então fazer a secagem – desativando o organismo. Assim, tem-se um artefato de compósito de micélio pronto. Para que a equipe tivesse uma melhor compreensão do processo detalhado para produção de cultura líquida, preparação da "semente" do cogumelo, ou *spawn* e moldagem do substrato, elaborou-se uma representação gráfica sistematizada, que é compartilhada nas **Figuras 2, 3 e 4**. Para os experimentos apresentados neste trabalho, seguiram-se os passos detalhados nestas figuras. Para fins de registro, inclui-se na representação gráfica das figuras a estimativa média de tempo para cada etapa.

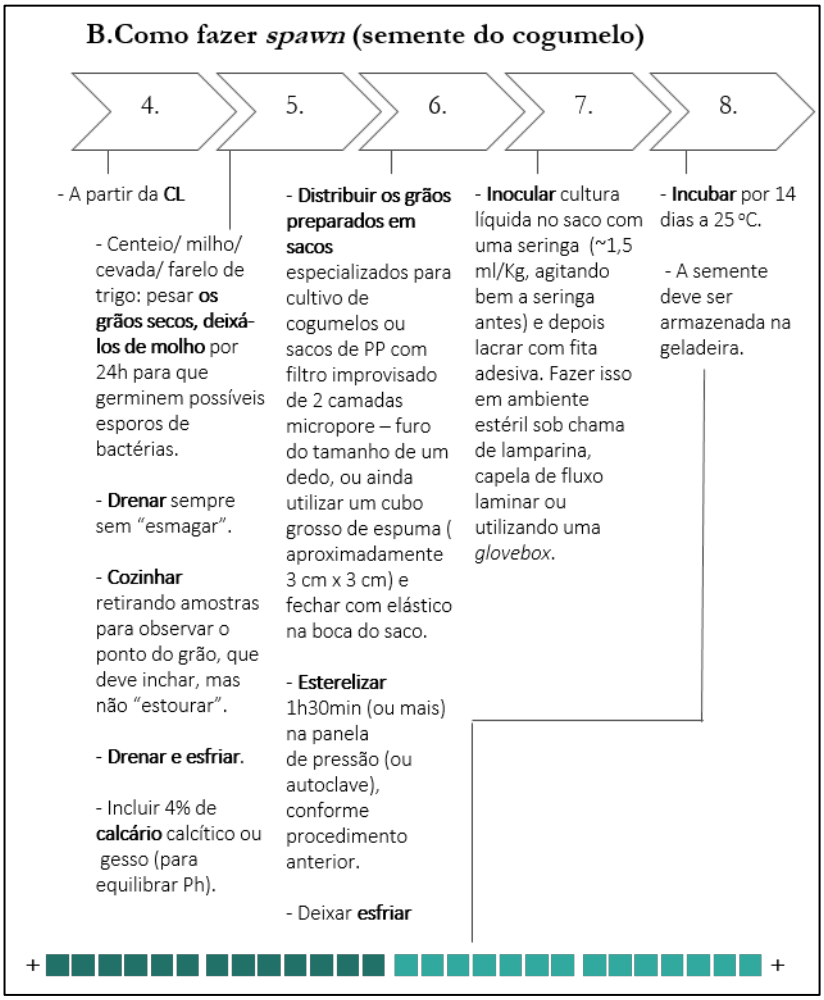


Figura 3 Esquematização de como podem ser preparadas as "sementes" de cogumelo para que depois se produza o compósito de micélio (Fonte: Elaborado pelos autores com base na revisão bibliográfica sistemática e experimentação inicial – e com base em "Cultive Cogumelos" (2022), "Fungicultura" (Fernandes, 2022), "Teach Genetics" (2022), Thompson e Thompson (2012) e Tang e Zhong (2004)).

Um detalhe no passo 9 da **Figura 4,** "Preparar substrato", a fonte de carbono neste estudo foi serragem peneirada aproveitada de uma serraria na região de Curitiba-PR. Outra observação, é que após o passo 11 da mesma figura, "Incubar", o material estava relativamente endurecido, fruto da colonização do substrato, que já forma um compósito. Assim, para o próximo passo, foi necessário triturá-lo antes de prosseguir com as técnicas de moldagem. Para tal, utilizou-se um triturador doméstico de resíduos de jardim. Por fim, nesta etapa cabe ainda ressaltar a importância de se manter estéreis todos os utensílios utilizados no transcorrer do processo. Os participantes que manusearam os materiais utilizaram luvas, que foram constantemente borrifadas com álcool etílico hidratado 70% - e utilizaram também máscaras. Estes cuidados se fazem necessários pois o risco de contaminação com outros microorganismos concorrentes é alto. Caso haja contaminação, estes organismos concorrentes impedem que o fungo desejado se desenvolva – e o compósito de micélio não se forma.

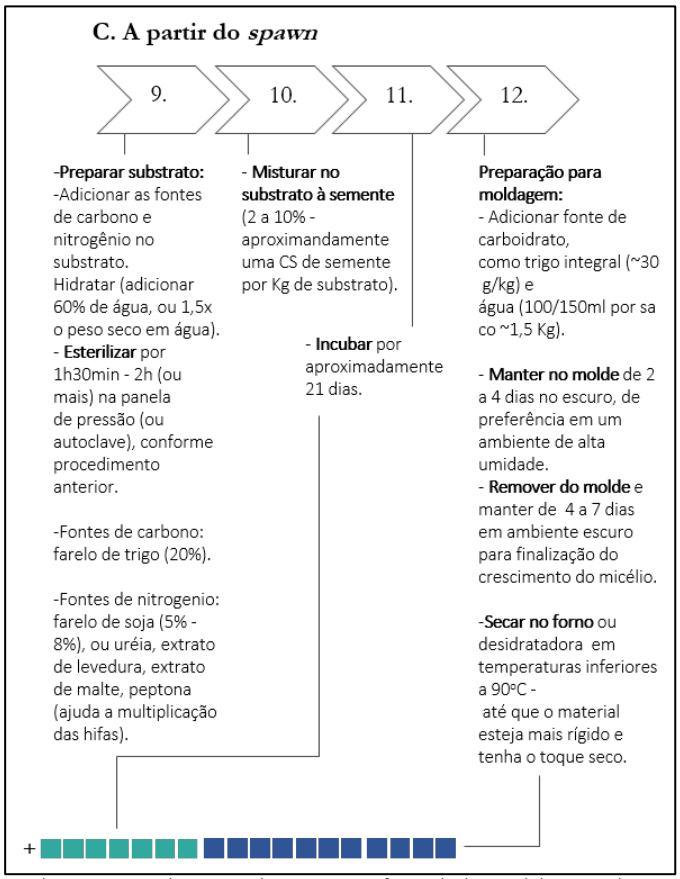


Figura 4 Esquematização de como pode ser preparado o compósito a ser conformado (crescido) para aplicações de design. (Fonte: Elaborado pelos autores com base na revisão bibliográfica sistemática e experimentação inicial – e com base em "Cultive Cogumelos" (2022), "Fungicultura" (Fernandes, 2022), "Teach Genetics" (2022), Thompson e Thompson (2012) e Tang e Zhong (2004)).

4.2 Etapa III - Construção das estruturas em juta na técnica de crochê

Para responder à pergunta de pesquisa (I) as espécies *Trametes versicolor, Ganoderma lucidum* e *Pleurotus ostreatus* crescerão sobre uma estrutura de juta construída em técnica de crochê? - foram produzidas estruturas em barbante de juta de aproximadamente 2 mm de diâmetro. O material foi encontrado em casas de comércio de artesanato. Inferiu-se que este material poderia cumprir o papel de substrato por consistir de fibras naturais sem muitos tratamentos químicos com resíduos, que poderiam inibir o desenvolvimento dos fungos. Um dos exemplos mais comuns de tratamento em fios de juta é a aplicação de gomas naturais (Castanhal, 2022). O ponto utilizado tem o nome popular de "ponto baixo" e é ilustrado a partir do site "Crochê Fácil" (2022) na Figura 5.

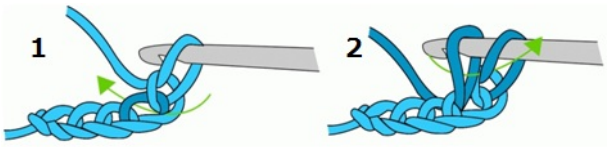


Figura 5 Esquema para o ponto de crochê denominado "ponto baixo"(Fonte: site Crochê Facil (2022)).

Para o experimento, foram produzidas 4 peças (cachepôs) de aproximadamente 9 cm de diâmetro e 9 cm de altura, apresentadas na Figura 6. Após a confecção das peças, as mesmas foram hidratadas por submersão e esterilizadas em panela de pressão de uso industrial por 30 minutos, dentro de sacos selados de polipropileno, apropriados para altas temperaturas.



Figura 6 Estruturas de juta feitas em crochê (Fonte: Elaborado pelos autores).

4.3 Etapa IV - Projeto e impressão 3D dos moldes

Para responder à pergunta de pesquisa (II) como se comportarão em termos de crescimento e desmolde as espécies *Trametes versicolor* e *Ganoderma lucidum* - quando colocadas em substrato dentro de moldes de PLA para formar relevos e rebaixos de alturas distintas? – foram desenvolvidos moldes impressos em uma impressora 3D por deposição de filamento (FDM). Para este experimento a cultura de *Pleurotus ostreatus* sofreu contaminação e se tornou inviável. O objetivo dos relevos e rebaixos foi testar possibilidades de detalhes, simulando a escrita. Compôs-se uma letra, similar ao "g", que possuísse ainda um "ponto" adicional. Optou-se por uma forma com curva, ponta e um vazado. Foram testadas três espessuras distintas: 3 mm, 4 mm e 5 mm – conforme ilustrado na Figura 7. As peças foram planejadas para ter dimensões totais de 50 mm de largura por 50 mm de comprimento por 50 mm de profundidade, os moldes podem ser melhor compreendidos na Figura 8.

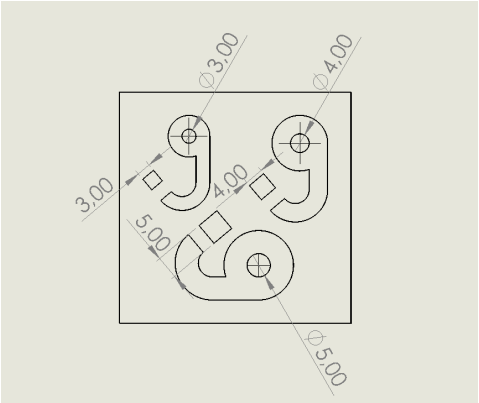


Figura 7 Exemplo do desenho para a simulação de letras em diferentes espessuras (Fonte: Elaborado pelos autores)

Para facilitar a extração das peças, os moldes foram elaborados em duas partes, o fundo é removível no sentido da abertura do molde, podendo a peça ser "empurrada" para fora. Ainda, há um ângulo de extração de 2 graus em todas as faces. Foram impressos 5 jogos de moldes para testes variados com as diferentes espécies – e também para testar um possível desmoldante. As alturas dos relevos e rebaixos foram escalonadas em 0,5 mm, 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm e 5 mm, como pode ser observado na **Figura 8**. Os moldes foram esterilizados com álcool etílico hidratado em uma concentração de 70%.

4.4 Etapa V - Submersão das estruturas de juta nas CLs e preenchimento dos moldes

Para esta etapa foram esterilizadas 3 vasilhas com álcool etílico hidratado 70%. Após a esterilização, as CLs foram derramadas nas vasilhas e as estruturas em crochê de juta (devidamente esterelizadas na etapa anterior) foram submersas nas culturas líquidas com a utilização de uma capela de fluxo laminar (**Figura 9**). Cada uma das 3 estruruas foi submersa em uma CL de espécie diferente: *Ganoderma lucidum*, *Pleurotus ostreatus* e *Trametes versicolor.* As vasilhas com as estruturas submersas foram então colocadas em sacos de polipropileno que foram selados. A quarta estrutura em crochê de juta foi mergulhada juntamente com o micélio sobrenadante de *Ganoderma lucidum* de uma das CLs, porém removida da CL e também colocada em um saco de polipropileno e selada - para fins de comparação de resultados com as estruturas submersas.

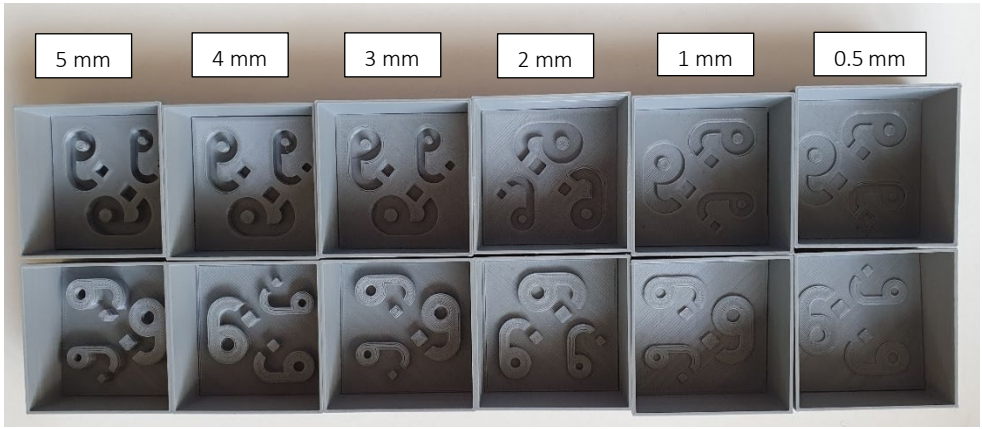


Figura 8 Exemplo de um jogo de moldes desenvolvido para os testes. Na parte de cima: relevos. Na parte de abaixo: rebaixos (Fonte: Elaborado pelos autores).



Figura 9 Submersão das estruturas em crochê nas culturas líquidas utilizando a capela de fluxo laminar (Fonte: pelos autores).

Quanto ao experimento com os cinco conjuntos de moldes impressos em 3D, após a esterelização com álcool, os mesmos foram preenchidos com os substratos já colonizados. Os conjuntos de moldes foram preenchidos cada um com substrato com uma espécie – e também dois testes foram feitos tentando uma técnica desmoldante: (1) *Ganoderma lucidum*; (2) um segundo *strain* de *Ganoderma lucidum* que um dos pesquisadores possuía para experimentos próprios (chamado aqui de *Ganoderma lucidum* strain II); (3) *Trametes versicolor;* (4) com o quarto conjunto de moldes testou-se a técnica desmoldante utilizada na culinária, untando os moldes com óleo de girassol e farinha de trigo, com o substrato colonizado por *Trametes versicolor;* e, por último, (5) a mesma técnica desmoldante foi testada com o segundo *strain* de *Ganoderma lucidum.* A **Figura 10** demonstra a disposição dos moldes quando guardados em ambiente controlado para a próxima etapa de incubação. Como o substrato já estava previamente colonizado, não foi necessário realizar o procedimento na capela de fluxo laminar.

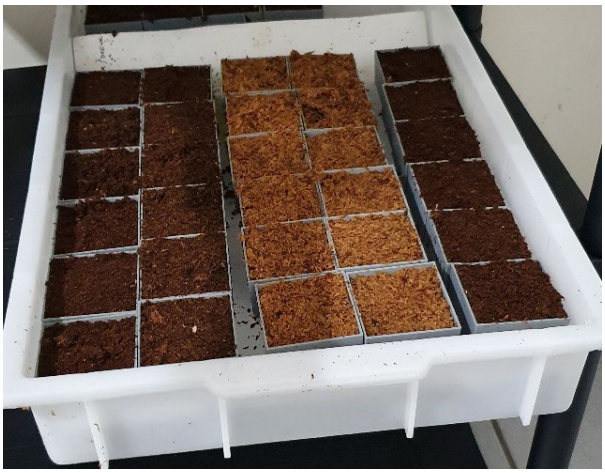


Figura 10 Moldes, da esquerda para a direita, preenchidos com: (1) *Ganoderma Lucidum;* (2) *Ganoderma lucidum* strain II; (3) *Trametes versicolor;* (4) *Trametes versicolor* com técnica desmoldante; (5) *Ganoderma lucidum* strain II com técnica desmoldante (Fonte: Elaborado pelos autores).

4.5 Etapas VI, VII e VIII - Incubação e retirada dos moldes, da imersão e secagem.

A etapa seguinte envolveu a incubação. As peças ficaram em ambiente de temperatura controlada a 20 e 25ºC e umidade entre 90 e 98%.

Conforme alguns experimentos iniciais prévios, constatou-se que a desmoldagem fica difícil se o período de incubação ocorrer totalmente dentro do molde, uma vez que o micélio se prende às paredes. Assim, o Quadro 2 explica o esquema de incubação e desmoldagem dos experimentos.

Quadro 2 Especificação do tempo de incubação das amostras.

Amostra	Incubação (dias)	Incubação após desmoldagem (dias)
Juta *Ganoderma lucidum* imerso	21	-
Juta *Trametes versicolor* imerso	21	-
Juta *Pleurotus ostreatus* imerso	21	-
Juta *Ganoderma lucidum* não imerso	21	-
Molde *Ganoderma Lucidum* I	2	2
Molde *Ganoderma Lucidum* II	2	2
Molde *Trametes versicolor*	2	2
Molde *Trametes versicolor* desmoldante	2	2
Molde *Ganoderma Lucidum* II desmoldante	2	2

Fonte: Elaborado pelos autores

Após a incubação, as peças foram secas em uma desidratadora por um período de 2h.

5. RESULTADOS

A seguir são descritos os resultados dos experimentos.

5.1 Estruturas em juta na técnica do crochê

Os melhores resultados nas estruturas de juta confecccionadas na técinca artesanal do crochê puderam ser observados com a amostra de *Ganoderma lucidum* que não permaneceu submersa (a estrutura número quatro descrita anteriormente) e com a amostra de *Pleurotus ostreatus* submersa.

Para estas amostras, há indícios de que houve um maior consumo do substrato (juta) e uma melhor cobertura com o micélio. As Figuras 11 à 15 apresentam os resultados. As amostras com *Ganoderma lucidum* e *Trametes versicolor* que foram submersas também apresentaram resultados satisfatórios. Apesar do fungo não ter formado uma camada de micélio uniforme e esbranquiçada nestas peças, que geralmente é o desejável para este tipo de material - o mesmo conferiu uma certa rigidez às estruturas. Cabe notar, contudo, que a camada branca da amostra *Pleurotus ostreatus*, apesar de bem desenvolvida, não se mostrou muito resistente ao manuseio após a secagem, diferentemente da amostra de *Ganoderma* que não permaneceu imersa.

5.2 Peças conformadas com auxílio de técnica de fabricação digital

Os melhores resultados nos experimentos com moldes impressos em 3D foram aqueles com a espécie *Ganoderma lucidum,* a versão que foi previamente chamada de *strain* II, não adquirida especialmente para este experimento, mas já utilizada por um dos pesquisadores. Pondera-se, contudo, que há indícios de contaminação nas amostras, possivelmente na trituração dos blocos colonizados, conforme descrito na secção de procedimentos metodológicos. O equipamento de trituração tem muitos locais de difícil acesso para limpeza, o que facilita a permanência de microorganismos concorrentes das espécies com as quais se trabalha neste experimento. O indício de contaminação é o desenvolvimento limitado dos fungos no substrato.



Figura 11 1. Juta *Ganoderma lucidum* que não permaneceu imerso; 2. Juta *Trametes versicolor* imerso; 3. Juta *Ganoderma lucidum* imerso; 4. Juta *Pleurotus ostreatus* imerso (Fonte: Elaborado pelos autores, 2022).



Figura 12 Juta *Ganoderma lucidum* que não permaneceu imerso (Fonte: Elaborado pelos autores)



Figura 13 Juta *Pleurotus ostreatus* imerso (Fonte: Elaborado pelos autores).



Figura 14 Juta *Trametes versicolor* imerso (Fonte: Elaborado pelos autores).



Figura 15 Juta *Ganoderma lucidum* imerso (Fonte: Elaborado pelos autores).

A Figura 16 apresenta os 5 experimentos feitos com rebaixo após a primeira incubação, exceto a amostra de *Ganoderma lucidum* que foi mantida por mais tempo no molde. Observa-se que a estratégia desmoldante "untando" os moldes com óleo e farinha não foi bem sucedida. Formou-se uma camada fina muito frágil, que apesar de, à primeira vista, ter potencial para um acabamento melhor, não se mantém ao toque (Figuras 17 e 18). A expectativa seria de que o fungo "unisse" a camada fina ao substrato mais grosso por meio do micélio, porém esta expectativa não se concretizou, possivelmente pelo pouco desenvolvimento dos fungos, agravado pela possível contaminação. Boa parte desta camada frágil se manteve nos moldes. Os resultados de extração sem a técnica desmoldante foram melhores, nestes casos a extração se mostrou mais fácil.

As Figuras 19 e 20 apresentam os melhores resultados de rebaixos e relevos, respectivamente, de todos os experimentos realizados neste trabalho – correspondem à espécie *Ganoderma lucidum* que chamamos aqui de *strain* II, sem a técnica desmoldante.

Nas peças em rebaixo, neste experimento, observou-se uma melhor resolução até uma profundidade máxima de 2 mm. A partir de 3 mm algumas geometrias se mostraram muito finas para a granulometria do substrato utilizado, por exemplo, no espaço entre o "ponto" e a "letra" simulada – e no espaço vazado da letra simulada também.

Nas peças em relevo, para este experimento, observou-se um melhor resultado no menor relevo (0,5 mm). Estima-se que com uma granulametria menor de substrato podem ser obtidos resultados melhores. Conclui-se que há uma dificuldade maior em alcançar detalhes em relevo do que em rebaixo.



Figura 16 Moldes de rebaixo: 1. Molde *Ganoderma Lucidum* strain II; 2. Molde *Ganoderma Lucidum* I; 3. Molde *Trametes versicolor;* 4. Molde *Trametes versicolor* desmoldante; 5. Molde *Ganoderma Lucidum* strain II desmoldante (Fonte: Elaborado pelos autores).



Figura 17 Moldes de relevo: Molde *Ganoderma Lucidum* strain *II* desmoldante (Fonte: Elaborado pelos autores).



Figura 18 Moldes de rebaixo: Molde *Ganoderma Lucidum* strain *II* desmoldante (Fonte: Elaborado pelos autores).



Figura 19 Moldes de rebaixo: Molde *Ganoderma Lucidum* strain II (Fonte: Elaborado pelos autores)



Figura 20 Moldes de relevo: Molde *Ganoderma Lucidum* strain II (Fonte: Elaborado pelos autores).

6. DISCUSSÃO

Desenvolvimentos de designers com fungos, como descrito nas secções 2 e 3, não são novidade.

Os trabalhos com materiais que envolvem alguma técnica de tecelagem, como o crochê e o tricô, permitem criar estruturas tridimensionais de forma análoga às impressoras 3D, em que a base é construída camada a camada. Com isso, essa técnica permite criar uma matriz para formação do biocompósito sem que haja desperdícios de materiais e supera a restrição da técnica de fabricação com moldes, já que é possível criar estruturas complexas e reforçadas (Figura 21) (Scott; Kaiser; Nerlich, 2021).



Figura 21 Testes de cultivo de micélio em suporte de tricô (Fonte: Scott, Kaiser e Nerlich, 2021, p. 4).

Conforme o levantamento bibliográfico apresentado no Quadro 1, a conformação de compósitos de micélio com auxílio de tecnologias de fabricação digital é uma prática relativamente comum em pesquisas em design com fungos, utilizada para a fabricação de moldes tridimensionais. Por meio da elaboração deste quadro, identificou-se o potencial de estudos estruturados que avaliassem possibilidades de rebaixos e relevos, bem como a própria experimentação com textos. Cabe aqui mencionar o trabalho da designer gráfica Nina Flaitz, denominado "*Dynamic Type Field*" (Figura 22) (Mycellium Resources, 2022). A designer explora possibilidades de implementação de design gráfico em compósitos a base de micélio. Na imagem, Flaitz utiliza uma granulametria de substrato ainda menor para seu experimento, conseguindo alcançar uma profundidade de rebaixo aparentemente maior do que a do experimento apresentado neste trabalho. Até o presente momento este foi o único experimento de Flaitz que esta equipe conseguiu identificar, não sendo possível conhecer se houve uma prática sistematizada ou se foram testados também relevos. A imagem é reprodução de uma rede social, a partir de uma página que compila as práticas de desenvolvimentos com compósito de micélio: Mycelium Resources (2022). Um trabalho similar é encontrado na página deste perfil com as letras do endereço eletrônico do mesmo (Figura 23).



Figura 22 Exemplo da designer Nina Flaitz – testes de aplicação de design gráfico em compósitos de micélio (Fonte: Mycelium Resources, 2022).



Figura 13 Texto em baixo relevo em compósito de micélio (Fonte: Mycelium Resources, 2022)

Ainda com relação à textura (granulometria e formato) do substrato utilizado nos moldes, é interessante que em estudos futuros se experimentem fibras naturais macias, que podem trazer uma resolução melhor em relevos, além de não "esfarelar", como é o caso das partículas de serragem utilizadas no presente estudo. Por exemplo, a empresa Mogu, já citada nas secções iniciais, trabalha com diversas fibras de resíduos da indústria, como a fibra de algodão (Figura 24).



Figura 24 Uso de fibras de resíduos da indústria de algodão pela empresa Mogu (Fonte: Mogu, 2022).

Com relação aos atributos estéticos destes materiais, uma das qualidades mais desejáveis quando se trabalha com compósito de micélio, além das propriedades técnicas, é a formação de uma camada uniforme branca que cubra o exterior das peças (Unger, 2022). Observa-se que no presente experimento, esta qualidade estética foi alcançada apenas nas amostras de juta, especificamente na amostra "Juta *Pleurotus ostreatus* imerso" e, em menor grau, na amostra "Juta *Ganoderma lucidum* não imerso". Atribui-se o insucesso da formação desta camada no experimento do compósito conformado nos moldes em PLA a uma possível contaminação. Contudo, é conhecido que o substrato impactará sempre nos atributos estéticos do compósito de micélio – quase sempre aparente, como se observa também nas peças de Nina Flaitz e de Scott; Kaiser; Nerlich, 2021 (Figuras 21 e 23). Os autores Ayala-Garcia e Rognoli (2017) argumentam que os materiais industriais geralmente têm superfícies uniformes e uma estética artificial, enquanto os materiais do tipo "faça você mesmo" (nos quais eles também enquadram os compósitos de micélio) tendem a evidenciar a fonte a partir da qual foram obtidos. Conclui-se que cabe ao designer, ou à designer, participar na escolha do substrato a fim de que se alcancem os resutados plásticos desejados. Quanto ao substrato, além do uso das fibras naturais para acabamentos mais resistentes, pondera-se o uso de granulometrias um pouco mais finas, como é o caso demonstrado em Mycelium Resources (2022). Contudo, cabe destacar que, segundo experimentos iniciais desta equipe, um substrato demasiado fino e compactado não permite uma oxigenação adequada para os fungos, o que resulta em um subdesenvolvimento dos mesmos.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante de uma lacuna reportada na literatura, que diz respeito à falta de documentação de experimentos com design com fungos - este trabalho se propôs a documentar de modo sistematizado a experimentação realizada na conformação de artefatos com três espécies de fungos, utilizando uma técnica de prática artesanal e também uma auxiliada pela fabricação digital.

As seguintes perguntas de pesquisa foram apresentadas: (I) as espécies *Trametes versicolor, Ganoderma lucidum* e *Pleurotus ostreatus* crescerão sobre uma estrutura de juta construída em técnica de crochê? e (II) como se comportarão em termos de crescimento e desmolde as espécies *Trametes versicolor* e *Ganoderma lucidum* - quando colocadas em substrato dentro de moldes de PLA para formar relevos e rebaixos de alturas distintas? Para responder às perguntas, foram seguidas as seguintes etapas: a preparação das (I) culturas líquidas (CLs) e (II) substratos inoculados; (III) a construção das estruturas em juta na técnica de crochê; (IV) o projeto e impressão 3D dos moldes; a (V) submersão das estruturas de juta nas culturas líquidas e preenchimento dos moldes; a (VI e VII) incubação e retirada dos moldes e da imersão; e a (VIII) secagem.

Como resultado, identificou-se que para a pergunta (I) as três espécies com as quais se trabalhou nesta pesquisa tiveram uma boa resposta às estruturas de juta, colonizando-as e formando uma camada de micélio. Esta camada se apresentou por vezes mais fina, como foi o caso para a amostra *Ganoderma lucidum* strain II e da *Trametes versicolor* que foram mantidas submersas. Em outros casos, a camada se formou de forma mais espessa e visível, como foi o caso para a amostra *Ganoderma lucidum* II que não foi mantida em submersão e da *Pleurotus ostreatus* que foi mantida submersa.

Quanto à pergunta (II), conclui-se que houve uma contaminação em boa parte das amostras, possivelmente durante o processo de trituração do substrato pré-colonizado. Contudo, foi possível observar que a melhor resposta foi do conjunto de experimentos com a espécie *Ganoderma lucidum* II, tanto em relevos quanto em rebaixos. Os testes com a técnica desmoldante com óleo de girassol e farinha de trigo não foram bem sucedidos. O melhor resultado foi conseguido com os rebaixos, de profundidade 0,5 mm, 1 mm e até 2 mm. Parece ser mais difícil conseguir bons resultados com os relevos, cujo melhor resultado foi de apenas 0,5 mm.

Para estudos futuros sugere-se a aplicação de diferentes substratos, como fibras mais macias, e um cuidado maior com a esterilização no processo de trituração. Entende-se que o estudo com relevos e rebaixos contribui com conhecimentos para o design de superfícies mais detalhadas – quando se trata de compósitos de micélio. Da mesma forma, o estudo com a técnica artesanal em juta demonstra que há uma ampla agenda a ser explorada com fibras naturais e o design com fungos.

REFERÊNCIAS

1. ANTINORI, M. E.; CESERACCIU, L.; MANCINI, G.; HEREDIA-GUERRERO, J. A.; ATHANASSIOU, A. Fine-Tuning of Physicochemical Properties and Growth Dynamics of Mycelium-Based Materials. ACS **Applied Bio Materials**, v. 3, n. 2, p. 1044–1051, 2020.

2. ATTIAS, N.; DANAI, O.; ABITBOL, T.; et al. Mycelium bio-composites in industrial design and architecture: Comparative review and experimental analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 246, p. 119037, 2020.

3. ATTIAS, N.; DANAI, O.; TARAZI, E.; PEREMAN, I.; GROBMAN, Y. J. Implementing bio-design tools to develop mycelium-based products. **Design Journal**, v. 22, n. sup1, p. 1647–1657, 2019.

4. ATTIAS, N.; DANAI, O.; TARAZI, E.; GROBMAN, J. Y. Developing novel applications of mycelium based bio-composite materials for design and architecture. Conference: Building with bio-based materials: Best practice and performance specification, 2017, Zagreb. **Anais...** Zagreb, 2017. p. 1-10.

5. AYALA-GARCIA, C.; ROGNOLI, V. The New Aesthetic of DIY-Materials. **Design Journal**, v. 20, n. sup1, p. S375–S389. Routledge. 2017.
6. BERNABEI, R., POWER, J. **Living Designs**. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics) 9793, pp. 40-47, 2016.
7. CALLISTER Jr., W. D.; RETHWISCH, D. G. **Materials Science and Engineering:** An Introduction. Hoboken: Wiley, 2014.
8. CAMERE, S.; KARANA, E. Fabricating materials from living organisms: An emerging design practice. **Journal of Cleaner Production**, v. 186, p. 570–584, 2018.
9. CAMERE, S.; KARANA, E. Growing materials for product design. Alive. Active. Adaptive: Internati-onal Conference on Experiential Knowledge and Emerging Materials, EKSIG 2017, Delft. **Anais...** Delft, 2017. p.101–115.
10. CASTANHAL COMPANHIA TÊXTIL. Fios engomados especiais. Disponível em:< https://castanhal.com.br/produtos-fios-engomados.php> Acesso em: 04 out 2022.
11. COHEN, N.; SICHER, E.; YAVUZ, S. U. Designing with microbial cellulose to feed new biological cycles. **International Journal of Food Design**, v. 4, n. 2, p. 155–171, 2019.
12. COLLET, C. Designing our future bio-materiality. **AI and Society**, , n. 0123456789. Springer London, 2020.
13. COLLET, C. 'Grow-made' textiles. In: Alive. Active. Adaptive: International Conference on Experiential Knowledge and Emerging Materials, EKSIG 2017, **Anais... .** pp. 24-37.
14. CRAWFORD, A. **Designer`s Guide to Lab Practice.** New York: Routledge, 2024.
15. CROCHÊ FÁCIL.Pontos de crochê – aprenda como fazer os 4 pontos básicos! Disponível em:< https://crochefacil.com.br/pontos-de-croche-mais-4-pontos/> Acesso em 04 out 2022.
16. CULTIVE COGUMELOS. Micélio de cogumelos/Sementes de Cogumelo (Spawn). Disponível em:< https://www.youtube.com/watch?v=nALMzR2SvBk&t=1045s>. Acesso em: 09 ago 2022.
17. DESIGN MUSEUM. Design with the Living 2020. Disponível em: https://designmuseum.org/whats-on/talks-courses-and-workshops/design-with-the-living-2020. Acesso em 04 mai 2021.
18. ECOVATIVE, Site institucional. Disponível em: < https://www.ecovative.com/>. Acesso em: 29 set 2022.
19. FERNANDES, R. Cultivo de Cogumelos em Casa. 2022. Disponível em:< https://www.youtube.com/c/FungiculturaCultivodeCogumelos>. Acesso em: 09 ago 2022.
20. FRICKER, M. D.; HEATON, L. L. M.; JONES, N. S.; BODDY, L. The Mycelium as a Network. Microbiology Spectrum, v. 5, n. 3, 2017.
21. FUNGICULTURA. Espécies. Disponível em: < https://www.fungicultura.com.br/>. Acesso em: 09 ago 2022.
22. FURNIEL, A. C. da M.; MENDONÇA, A. P. B.; SILVA, R. M. da. Recursos Educacionais Abertos: Conceitos e Princípios. Disponível em: <https://campusvirtual.fiocruz.br/portal/guiarea/assets/files/Guia1.pdf>. Acesso em: 07 jan 2025.
23. GERBER, L. C.; KOEHLER, F. M.; GRASS, R. N.; STARK, W. J. Incorporating microorganisms into polymer layers provides bioinspired functional living materials. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v. 109, n. 1, **Anais... .** p. 90–94, 2012.
24. GUMUSKAYA, G. Multimaterial bioprinting—minus the printer: Synthetic bacterial patterning with UV-responsive genetic circuits**. International Journal of Architectural Computing**, , n. Figure 1, p. 147807712096337, 2020.
25. IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção de Juta. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/juta/br>. Acesso em: 07 jan 2025.
26. JONES, M.; MAUTNER, A.; LUENCO, S.; BISMARCK, A.; JOHN, S. Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: A critical review. **Materials and Design**, v. 187, p. 108397, 2020.
27. . KARANA, E.; BLAUWHOFF, D.; HULTINK, E. J.; CAMERE, S. When the material grows: A case study on designing (with) mycelium-based materials. **International Journal of Design**, v. 12, n. 2, p. 119–136, 2018.
28. KERA, D. Innovation regimes based on collaborative and global tinkering: Synthetic biology and nanotechnology in the hackerspaces. **Technology in Society**, v. 37, n. 1, p. 28–37, 2014.
29. KIRDÖK, O., ALTUN, T.D., DOKGÖZ, D., TOKUÇ, A. Biodesign as an innovative tool to decrease construction induced carbon emissions in the environment. **International Journal of Global Warming** 19(1-2), pp. 127-144. 2019.
30. LAZARO VASQUEZ, E. S.; VEGA, K. Myco-accessories: Sustainable wearables with biodegradable materials. Proceedings - International Symposium on Wearable Computers, ISWC, **Anais... .** p. 306–311, 2019.
31. LEE, C.; LEE, H.; KIM, O. BIN. Biocement fabrication and design application for a sustainable urban area. **Sustainability** (Switzerland), v. 10, n. 11, 2018.
32. MELKOZERNOV, A. N.; SORENSEN, V. What drives bio-art in the twenty-first century? Sources of innovations and cultural implications in bio-art/biodesign and biotechnology. **AI and Society**, Springer London, 2020.
33. MOGU. Site institucional. Disponível em:< https://mogu.bio/contact/>. Acesso em: 29 set 2022.
34. MONNA, V. Make the environment the (Next) Economy. **The Design Journal**, v. 20, n. sup1, p. S1836–S1851. Routledge. 2017
35. MUSH. Painel Íris Color. Disponível em:< https://loja.mush.eco/produtos/painel-iris-color-unidade/> Acesso em: 04 out 2022.
36. MYCELIUM RESOURCES. Perfil do Instagram. Disponível em: <https://www.instagram.com/p/Cex19UVL3fY/>. Acesso em: 29 set 2022.
37. MYERS, W. **Biodesign**. Nature, science, creativity. High Holborn: Thames & Hudson, 2018.
38. PASOLD, A. Advanced Growing Materials. In: FERRARO, V.; PASOLD, A. (eds.). **Emerging Materials & Technologies**. New Approaches in Design Teaching Methods of Four Exemplified Areas. Milano: FrancoAngeli s.r.l., 2020. pp. 126-152

39. PARISI, S.; ROGNOLI, V. **Tinkering with Mycelium**. A case study. Alive. Active. Adaptive: International Conference on Experiential Knowledge and Emerging Materials, EKSIG 2017. **Anais...** . p.66–78, 2017.

40. PARISI, S.; ROGNOLI, V.; AYALA-GARCIA, C. Designing materials experiences through passing of time - Material driven design method applied to mycelium-based composites. Proceedings - D and E 2016: 10th International Conference on Design and Emotion - Celebration and Contemplation, Março 2020, **Anais... .** p. 239–255, 2016.

41. SCOTT, J. KAISER, R.; NERLICH, P. Building Couture: Knitting as a Strategy for Bespoke Bio Architecture. International Conference Resilient Materials 4 Life 2020. Setembro 2021. **Anais...** p. 1-4, 2021.

42. STROBEL do NASCIMENTO, E.; HEEMANN, A. Perspectivas em design e materiais vivos: discussão da literatura. In: Gampi + Plural Design 2020, 2020, Joinville. Anais Gampi + Plural Design 2020. **Anais...** Joinville: Editora Univille, 2020. p. 240-253.

43. STROBEL do NASCIMENTO, E.; LAU, G. M.; ISHIY, F. C.; HEEMANN, A. Design com materiais vivos: reflexões sobre ensino de projeto e novas sensibilidades. Design com materiais vivos: reflexões sobre ensino de projeto e novas sensibilidades. **Plural Design**, v. 4, p. 80-90, 2021.

44. TANG, Y.; ZHONG, J. Modeling the kinetics of cell growth and ganoderic acid production in liquid static cultures of the medicinal mushroom Ganoderma lucidum. **Biochemical Engineering Journal**, v.21, n.3, pp. 259-264, 2004.

45. TEACH GENETICS. Sterilizing Liquids. Disponível em: < https://teach.genetics.utah.edu/content/microbiology/liquids/#:~:text=Add%20an%20inch%20or%20two,heat%20it%20on%20a%20burner>. Acesso em: 09 ago 2022.

46. THOMPSON, R. B.; THOMPSON, B. F. **Illustrated Guide to Home Biology Experiments.** Sebastopol: O'Reilly Media, Inc., 2012.

47. TORTORA, G.J.; BERDELL, R.F. l; CASE, C.L.. **Microbiology**: an introduction. Benjamin Cumming Publishing: San Francisco, 2012, pp. 122-320.

48. WEILER, J.; FERNANDO, P.; SIYAMBALAPITIYA, N.; KUZNETSOV, S. Mycelium artifacts: Exploring shapeable and accessible biofabrication. DIS 2019 Companion - Companion Publication of the 2019 ACM Designing

49. RAMAN, J.; KIM, D.-S.; KIM, H.-S.; OH, D.-S.; SHIN, H.-J. Mycofabrication of Mycelium-Based Leather from Brown-Rot Fungi.**Journal of Fungi**, v.8, n.317, pp. 1-19 2022.

50. UNGER, M. **Fungi for the Production of New Types of Biomaterials.** 2022 220p. Dissertação (Mestrado) - Faculty of Forest Sciences and Forest Ecology of the Graduate Forest and Agriculture Science (GFA), Georg August Universität Göttingen, Göttingen, 2022. Disponível em: file:///D:/14-%20ARTIGOS%20DESENVOLVIDOS/13-%20DESIGN%20E%20TECNOLOGIA/FINAL_ediss.pdf. Acesso em: 13 nov. 2022.

51. WIMMERS, G.; KLICK, J.; TACKABERRY, L.; et al. Fundamental studies for designing insulation panels from wood shavings and filamentous fungi. **BioResources**, v. 14, n. 3, pp. 5506–5520, 2019.